植物多酚对黄羽肉鸡抗氧化性能、肠道形态及肉品质的影响

吴　姝[1,2]　蒋步云[1]　宋泽和[1]　侯德兴[1,3]　施寿荣[2*]　贺　喜[1*]

（1.湖南农业大学动物科学技术学院，饲料安全与高效利用教育部工程研究中心，湖南畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128；2.中国农业科学院家禽研究所，扬州 225125；3.日本鹿儿岛大学农学部，鹿儿岛 890-0065，日本）

摘　要：本试验旨在研究植物多酚对黄羽肉鸡抗氧化性能、肠道形态及肉品质的影响。选取1日龄雄性黄羽肉鸡288只，随机分为4组，每组6个重复，每个重复12只。各组分别饲喂基础饲粮（对照组）、基础饲粮+100 g/t抗敌素（抗生素组）、基础饲粮+500 mg/kg植物多酚（BP500组）和基础饲粮+1 000 mg/kg植物多酚（BP1000组）。试验期56 d。结果表明：1）21日龄时，BP500组和BP1000组肉鸡血清中过氧化氢酶（CAT）活性显著高于抗生素组（P<0.05）；56日龄时，BP1000组肉鸡血清中CAT活性显著高于其他3组（P<0.05）。2）21日龄时，BP500组和BP1000组肉鸡回肠绒毛高度/隐窝深度（V/C）显著低于抗生素组（P<0.05）；56日龄时，BP500组肉鸡回肠V/C显著高于对照组和抗生素组（P<0.05）。3）56日龄时，BP1000组胸肌肉色红度（a^*）值显著高于其他3组（P<0.05），BP500组和BP1000组胸肌失水率显著低于其他2组（P<0.05），BP500组和BP1000组胸肌24 h滴水损失显著低于其他2组（P<0.05），BP1000组胸肌48 h滴水损失显著低于对照组和抗生素组（P<0.05）。由此可见，饲粮添加500和1 000 mg/kg的植物多酚均能改善黄羽肉鸡肠道形态，提高机体的抗氧化能力，并改善鸡肉品质。植物多酚的推荐添加量为1 000 mg/kg。

关键词：植物多酚；黄羽肉鸡；抗氧化性能；肠道形态；肉品质

收稿日期：2018-05-22
基金项目：省科技计划项目（2016NK2124）；公益性行业（农业）科研专项项目（201403047）
作者简介：**吴　姝**（1992—），女，湖南娄底人，博士研究生，研究方向为家禽分子营养。E-mail: wushu223759@163.com
*通信作者：**施寿荣**，副研究员，硕士生导师，E-mail： ssr236@163.com；**贺　喜**，教授，博士生导师，E-mail: hexi111@126.com

中图分类号：S831.5　　　　　　　　　文献标识码：　　　　　文章编号：

抗生素自从被广泛应用于动物生产以来，在防治畜禽疾病和促进生长等方面发挥了重要作用，极大地提高了养殖经济效益。但随着畜牧业的快速发展，长期低剂量预防用药或过量使用、滥用抗生素等现象普遍存在，造成畜禽体内残留和蓄积毒素、致病菌产生耐药性、动物免疫力下降等问题日益突出，严重威胁人类健康。近年来超级耐药菌的出现给人类敲响了警钟，因此开发绿色、环保、无毒副残留的抗生素的替代品已刻不容缓。

植物多酚是一类天然植物提取物，广泛存在于植物体内，具有多元酚结构，是一类天然抗氧化剂，可以清除体内有害自由基的大量产生，激活体内抗氧化防卫系统[1-2]。前人研究报道，在饲粮中添加植物多酚，不仅能改善畜禽的健康和产品的质量，而且不易出现有害残留和毒副作用[3-5]。因此，来源广、成本低的植物多酚，可作为纯天然、无污染、无残留、无耐药性的抗生素替代物，有较广泛的市场前景和应用潜力，是未来饲料行业发展的必然趋势，对畜牧业稳定、持续、健康发展具有重要意义。在家禽上，植物多酚作为饲料添加剂也能促进家禽的生长性能、免疫机能和抗氧化性能，改善肉品质和肠道形态[6-9]。但目前只有少数植物多酚成分在畜禽中的应用效果得到了证实，仍需开展更多的应用。因此本实验室自制了一种聚合植物多酚，通过在饲粮中添加不同水平的该聚合植物多酚，探讨其对黄羽肉鸡抗氧化性能、肠道形态及肉品质的影响，为植物多酚在家禽饲粮中的应用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

植物多酚为本实验室自制，主要成分为单多酚（黄酮类）和复合多酚（原花青素类），实测总酚含量为 11.59 mg/g，对二苯代苦味酰基（DPPH）自由基清除能力为 1.97 倍 Trolox 当量。

1.2　试验设计

选取健康 1 日龄雄性黄羽肉鸡（快大型黄羽肉鸡，广东温氏集团培育）288 只，随机

分为4组，每组6个重复，每个重复12只，各重复之间体重接近（P>0.05）。对照组饲喂基础饲粮，参照NRC（1994）和《黄鸡饲养标准》（NY/T 33-2004）中黄羽肉鸡营养需要配制，基础饲粮组成及营养水平见表1；抗生素组饲喂基础饲粮+100 g/t抗敌素，试验组分别饲喂基础饲粮+500 mg/kg植物多酚（BP500组）和基础饲粮+1 000 mg/kg植物多酚（BP1000组）。试验期56 d，分为1～21日龄和22～56日龄2个阶段。

表1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (air-dry basis) %

项目 Items	1～21日龄 1 to 21 days of age	22～56日龄 22 to 56 days of age
原料 Ingredients		
玉米 Corn	59.00	61.00
次粉 Wheat middling	3.90	4.00
豆粕 Soybean meal	25.50	22.00
鱼粉 Fish meal	2.00	
棉籽蛋白粉 Cottonseed gluten meal	4.00	7.80
豆油 Soybean oil	1.80	1.40
预混料 Premix[1)]	3.80	3.80
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]		
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.42	12.29
粗蛋白质 CP	20.12	19.49
钙 Ca	0.97	0.90
总磷 TP	0.67	0.65

赖氨酸 Lys	1.15	1.05
蛋氨酸 Met	0.45	0.40

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 5 400 000 IU，VB_1 2 000 mg，VB_2 15 000 mg，VB_{12} 30 mg，VD_3 1 100 000 IU，VE 18 000 mg，VK_3 5 000 mg，生物素 biotin 200 mg，叶酸 folic acid 500 mg，泛酸 pantothenic acid 25 000 mg，烟酸 nicotinic acid 35 000 mg，Cu 40 mg，Fe 96 mg，Mn 105.4 mg，Zn 98 mg，I 0.9 mg，Se 0.04 mg。

[2)]代谢能为计算值，其余为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

1.3 饲养管理

试验鸡采用上、中、下 3 层笼养，锅炉控温（第 1 天 33 ℃，第 1 周 30～32 ℃，第 2 周 27～29 ℃，第 3 周 24～26 ℃，以后 20～21 ℃），人工光照，自然通风，自由饮水与采食并计量不限量，按正常免疫程序进行免疫接种。每天观察记录鸡群行为及健康状况，同时记录每天鸡舍中的温度和湿度。

1.4 检测指标

1.4.1 血清抗氧化指标

于 21 和 56 日龄每个重复随机选取 1 只鸡，翅静脉采血，室温静置 2 h，3 000 r/min 离心 10 min，分离得血清，-20 ℃冰箱保存待测。测定血清中过氧化氢酶（CAT）、超氧化物歧化酶（SOD）、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px）活性及总抗氧化能力（T-AOC）和丙二醛（MDA）含量，所用试剂盒均购于南京建成生物工程研究所。

1.4.2 抗体水平

新城疫（NDV）疫苗一免于 14 日龄采用饮水方式进行，二免于 28 日龄同样采用饮水方式完成。于一免后第 14 天和二免后第 5、9、13 天翅静脉采血，血液经低温离心后分离血清，-20 ℃保存，采用酶联免疫吸附测定（ELISA）法测定抗 NDV 抗体水平。

1.4.3 肠道形态指标

于21和56日龄屠宰后，取1 cm左右空肠末端肠段和回肠中部肠段，放入10%福尔马林中固定。取固定24 h后的肠段样品，经过冲水、梯度酒精脱水、二甲苯透明、石蜡包埋等处理后，以6 μm的厚度切片，常规苏木精-伊红（HE）染色，最后中性树脂封片。生物显微镜下观察肠道形态变化，选取3处完整且走向平直的绒毛，测定绒毛高度（villous height）和隐窝深度（crypt depth），并计算绒毛高度/隐窝深度（V/C）。

1.4.4 肉品质指标

1.4.4.1 失水率

于56日龄屠宰后，取右侧胸肌，采用加压法测定失水率。沿肌纤维垂直方向切一块1 cm×1 cm×1 cm的方形肉粒，称重（W_1）；将肉粒置于2层医用纱布之间，上下各垫18层滤纸（中速定性分析滤纸），夹于铁板中，放在改装的钢化允许膨胀压缩仪的平台上，加压至35 kg保持5 min，撤除压力后取肉样称重（W_2）。

失水率(%)=[（W_1－W_2）/ W_1]×100。

1.4.4.2 滴水损失

于56日龄屠宰后，取右侧胸肌，修剪为2 cm×2 cm×1 cm的肉块，称重（W_1），然后用细铁丝钩住肉样一端，使肌纤维垂直向下，铁丝另一端从塑料杯底部穿过，使肉样悬于塑料杯内，用保鲜袋装好塑料杯，扎好袋口，置于4 ℃冰箱。24 h后取出肉样，用洁净滤纸轻轻拭去肉样表层水分后称重（W_2）。把称量后的肉样重新挂回放入冰箱，再过24 h后取出肉样，用滤纸拭去肉样表层汁液后称重（W_3）。

24 h滴水损失(%)=[（W_1－W_2）/ W_1]×100；

48 h滴水损失(%)=[（W_1－W_3）/ W_1]×100。

1.4.4.3 肉色

于56日龄屠宰后，取左侧胸肌，30～45 min后采用CR-400型色差仪（日本Konica Minolta公司）测定靠近骨侧肌肉表面的亮度（L^*）、红度（a^*）和黄度（b^*）值，测定3次，取平

均值作为最终结果。

1.4.4.4　pH

于 56 日龄屠宰后，取左侧胸肌，45 min 后将 Testo-205 便携式 pH 计（德国 Testo 公司）的电极完全包埋到肉样中，使其与肌肉中的组织液充分接触，待 pH 计读数稳定后记录 pH 值。然后将肌肉放至 4 ℃冰箱中保存，24 h 后再测定 1 次。每个肉样测定 3 次，取平均值作为最终结果。

1.4.5.5　肌肉 MDA 含量

于 56 日龄屠宰后，取右侧胸肌 10 g 左右，用锡箔纸包好，液氮速冻后转至-20 ℃冰箱保存，待测肌肉 MDA 含量，所用试剂盒购于南京建成生物工程研究所。

1.5　数据统计分析

试验数据用平均值±标准差表示，采用 SPSS 19.0 软件对所有数据进行单因素方差分析，对差异显著者进行 Duncan 氏法多重比较。*P*<0.05 为差异显著。

2　结　果

2.1　植物多酚对黄羽肉鸡血清抗氧化指标的影响

植物多酚对 21 和 56 日龄黄羽肉鸡血清抗氧化指标的影响见表 2。21 日龄时，BP500 组和 BP1000 组肉鸡血清中 CAT 活性显著高于抗生素组（*P*<0.05）；56 日龄时，BP1000 组肉鸡血清中 CAT 活性显著高于其他 3 组（*P*<0.05）。

表 2　植物多酚对黄羽肉鸡血清抗氧化指标的影响

Table 2　Effects of botanical polyphenol on serum antioxidant indices of yellow broilers

项目 Items	过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	超氧化物歧化酶 SOD/（U/mL）	谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mL）	总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	丙二醛 MDA/（nmol/mL）
21 日龄　21 days of age					
对照组　Control group	137.37±31.25[ab]	184.53±35.43	5 227.86±232.18	26.36±5.58	9.50±3.39

抗生素组 Antibiotic group	94.45±22.56[b]	145.74±39.20	4 747.92±618.78	28.09±4.14	7.66±1.09
BP500 组 BP500 group	149.65±15.22[a]	168.97±16.46	6 182.85±447.49	25.20±2.85	9.73±1.47
BP1000 组 BP1000 group	155.96±82.10[a]	161.04±29.08	5 391.37±477.13	23.93±2.82	8.82±2.77
P 值 *P*-value	0.047	0.268	0.120	0.483	0.447
56 日龄 56 days of age					
对照组 Control group	28.16±9.14[b]	140.73±31.16	6 338.86±1637.07	21.87±6.02	5.65±1.44
抗生素组 Antibiotic group	23.43±6.55[b]	112.18±31.56	7 884.08±1495.13	20.49±2.72	4.41±1.76
BP500 组 BP500 group	27.19±1.34[b]	151.76±37.90	6 981.82±609.97	17.76±8.23	3.83±1.28
BP1000 组 BP1000 group	43.08±7.49[a]	125.30±30.85	6 953.17±786.42	25.26±4.30	5.18±1.10
P 值 *P*-value	0.029	0.208	0.238	0.231	0.152

同列数据肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），相同或无字母表示差异不显著（$P>0.05$）。下表同。

In the same column, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 植物多酚对黄羽肉鸡血清抗体水平的影响

植物多酚对肉鸡抗体水平的影响见表 3。一免后第 14 天（28 日龄）时，对照组肉鸡血清抗 NDV 抗体水平显著高于抗生素组和 BP1000 组（$P<0.05$），BP500 组抗 NDV 抗体水平略高于抗生素组和 BP1000 组（$P>0.05$）。二免后第 9 天（37 日龄）时，BP500 组抗 NDV 抗体水平显著高于其他各组（$P<0.05$）；二免后第 5 天（33 日龄）和第 13 天（51 日龄）时，各组抗 NDV 抗体水平均差异不显著（$P>0.05$）。

表 3　植物多酚对黄羽肉鸡血清抗体水平的影响

Table 3　Effects of botanical polyphenol on serum antibody levels of yellow broilers

项目 Items	一免 First immunization	二免 Second immunization

	28 日龄 28 days of age	33 日龄 33 days of age	37 日龄 37 days of age	51 日龄 51 days of age
对照组 Control group	0.104±0.007[a]	0.085±0.013	0.086±0.007[b]	0.136±0.013
抗生素组 Antibiotic group	0.078±0.003[b]	0.086±0.021	0.097±0.008[b]	0.127±0.021
BP500 组 BP500 group	0.096±0.029[ab]	0.089±0.010	0.111±0.008[a]	0.130±0.015
BP1000 组 BP1000 group	0.084±0.005[b]	0.095±0.010	0.090±0.006[b]	0.116±0.018
P 值 *P*-value	0.026	0.752	0.001	0.361

2.3　植物多酚对黄羽肉鸡肠道形态的影响

植物多酚对 21 和 56 日龄肉鸡肠道形态的影响见图 1、图 2 和表 4。由图 1 和图 2 可知，各组空肠和回肠绒毛大致呈指状和柱状；对照组和抗生素组 2 段肠道的绒毛发育不良，大多排列不规则，粗短且有较多脱落的现象；而 BP500 组和 BP1000 组的 2 段肠道绒毛较长，排列整齐紧密，绒毛间界限清晰；总体来看，BP500 组肠绒毛发育较好。

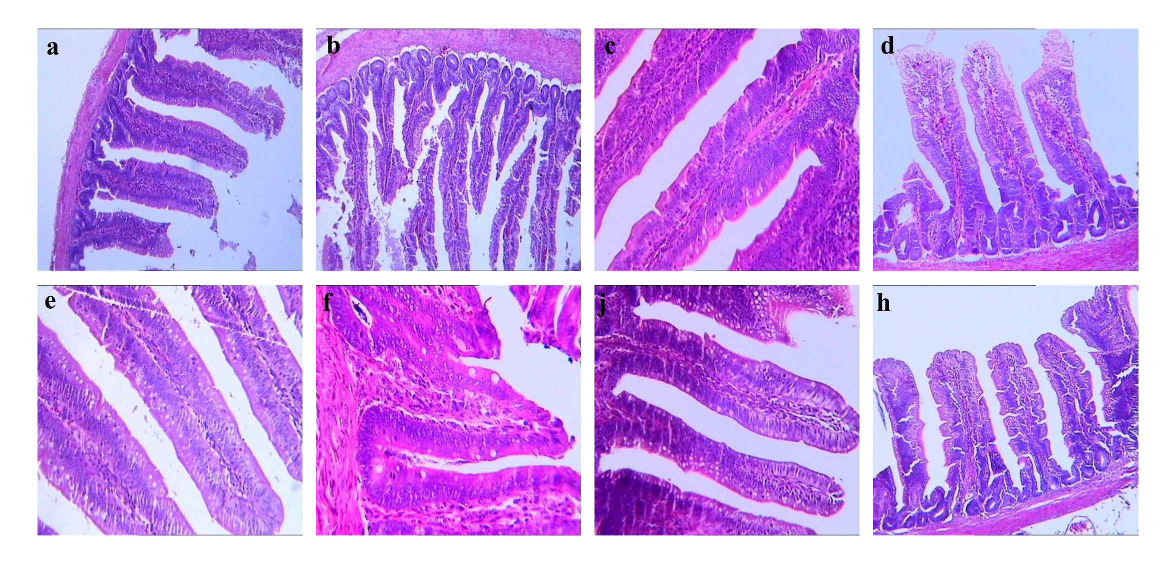


图 a~图 d 分别为 21 日龄时对照组、抗生素组、BP500 组和 BP1000 组空肠；图 e~图 f 分别为 21 日龄时对照组、抗生素组、BP500 组和 BP1000 组回肠。

Fig.a to Fig.d were the jejunum of control group, antibiotic group, BP500 group and BP1000 group on 21 days of age, respectively; Fig.e to Fig.f were the ileum of control group, antibiotic group, BP500 group and BP1000 group on 21 days of age, respectively.

图 1　植物多酚对 21 日龄黄羽肉鸡肠道形态的影响

Fig.1　Effects of botanical polyphenol on intestine morphology of yellow broilers on 21 days of age （100×）

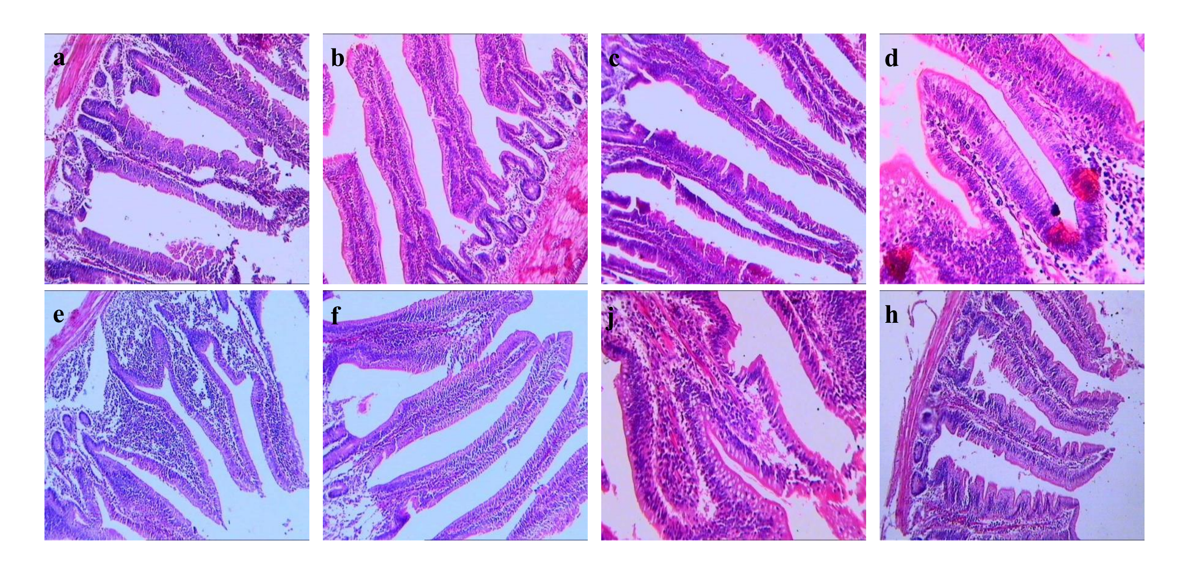


图 a~图 d 分别为 56 日龄时对照组、抗生素组、BP500 组和 BP1000 组空肠；图 e~图 f 分别为 56 日龄时对照组、抗生素组、BP500 组和 BP1000 组回肠。

Fig.a to Fig.d were the jejunum of control group, antibiotic group, BP500 group and BP1000 group on 56 days of age, respectively; Fig.e to Fig.f were the ileum of control group, antibiotic group, BP500 group and BP1000 group on 56 days of age, respectively.

图 2　植物多酚对 56 日龄黄羽肉鸡肠道形态的影响

Fig.2　Effects of botanical polyphenol on intestine morphology of yellow broilers on 56 days of age （100×）

由表 4 可知，21 日龄时，对照组的空肠隐窝深度最深，显著大于抗生素组（$P<0.05$），抗生素组最浅，BP500 组、BP1000 组与其他各组无显著差异（$P>0.05$）；抗生素组的回肠绒毛高度最短，显著低于对照组（$P<0.05$），对照组的回肠绒毛高度最高，BP500 组与 BP1000 组无显著差异（$P>0.05$）；抗生素组和 BP500 组的回肠隐窝深度显著小于对照组和 BP1000 组（$P<0.05$）；抗生素组的回肠 V/C 显著高于其他 3 组（$P<0.05$）。56 日龄时，BP500 组

的回肠绒毛高度最短，显著低于抗生素组和 BP1000 组（P<0.05），抗生素组的回肠绒毛高度最高，对照组与 BP1000 组无显著显著（P>0.05）；BP500 组的回肠隐窝深度显著低于其他 3 组（P<0.05）；BP500 组的回肠 V/C 显著高于对照组和抗生素组（P<0.05）。

表 4　植物多酚对黄羽肉鸡肠道形态的影响

Table 4　Effects of botanical polyphenol on intestinal morphology of yellow broilers

项目 Items	21 日龄 21 days of age		56 日龄 56 days of age	
	空肠 Jejunum	回肠 Ileum	空肠 Jejunum	回肠 Ileum
绒毛高度 Villous height/μm				
对照组 Control group	540.63±35.31	431.13±34.68[a]	441.00±20.69	512.99±46.74[bc]
抗生素组 Antibiotic group	402.10±78.46	300.533±40.49[c]	594.57±96.60	612.97±77.32[a]
BP500 组 BP500 group	531.03±38.85	326.97±40.25[bc]	671.27±107.36	433.77±30.55[c]
BP1000 组 BP1000 group	518.33±78.82	378.23±36.26[ab]	596.10±105.10	532.83±28.14[ab]
P 值 *P*-value	0.078	0.013	0.071	0.015
隐窝深度 Crypt depth/μm				
对照组 Control group	457.00±38.64[a]	321.17±23.08[a]	362.90±85.81	424.59±109.91[a]
抗生素组 Antibiotic group	280.77±93.35[b]	184.59±23.05[b]	362.50±103.51	458.63±46.82[a]
BP500 组 BP500 group	392.27±16.48[ab]	226.77±20.26[b]	433.50±105.72	219.30±19.60[b]
BP1000 组 BP1000 group	353.73±58.72[ab]	286.80±39.74[a]	375.30±89.38	350.07±56.75[a]
P 值 *P*-value	0.049	0.001	0.778	0.010
绒毛高度/隐窝深度 V/C				
对照组 Control group	1.18±0.03	1.34±0.02[b]	1.26±0.26	1.25±0.23[b]
抗生素组 Antibiotic group	1.52±0.37	1.63±0.02[a]	1.78±0.80	1.33±0.04[b]

BP500 组 BP500 group	1.35±0.04	1.44±0.13^{b}	1.58±0.24	1.99±0.31^{a}
BP1000 组 BP1000 group	1.47±0.09	1.32±0.07^{b}	1.63±0.38	1.55±0.31^{ab}
P 值 *P*-value	0.238	0.007	0.609	0.027

2.4 植物多酚对黄羽肉鸡肉品质的影响

植物多酚对 56 日龄黄羽肉鸡肉品质的影响见表 5。BP1000 组的胸肌肉色 a*值显著高于其他各组（$P<0.05$）。BP500 组和 BP1000 组的胸肌失水率显著低于对照组和抗生素组（$P<0.05$）。BP500 组和 BP1000 组的胸肌 24 h 滴水损失显著低于对照组和抗生素组（$P<0.05$），BP1000 组的胸肌 48 h 滴水损失显著低于对照组和抗生素组（$P<0.05$）。

表 5 植物多酚对黄羽肉鸡肉品质的影响

Table 5 Effects of botanical polyphenol on meat quality of yellow broilers

项目 Items	pH		肉色 Meat color			滴水损失 Drip loss/%		失水率 Water loss rate/%	丙二醛 MDA/（nmol/mg prot）
	45 min	24 h	亮度 L*	红度 a*	黄度 b*	24 h	48 h		
对照组 Control group	6.31±0.49	5.68±0.08	53.23±4.83	3.45±0.93^{b}	14.13±0.97	7.50±2.15^{a}	9.03±1.13^{a}	28.77±6.90^{a}	0.31±0.08
抗生素组 Antibiotic group	6.21±0.51	5.66±0.06	52.54±4.56	4.22±1.05^{b}	13.24±2.29	6.95±0.93^{a}	9.22±0.88^{a}	32.29±5.09^{a}	0.28±0.06

BP500组 BP500 group	6.41±0.22	5.74±0.19	55.36±1.93	3.40±0.23^{b}	13.82±2.80	4.65±0.39^{b}	7.71±0.68^{ab}	13.55±2.45^{b}	0.20±0.06
BP1000组 BP1000 group	6.58±0.25	5.62±0.15	52.16±0.73	6.95±0.88^{a}	16.53±1.23	4.17±1.06^{b}	7.27±1.39^{b}	7.50±1.06^{b}	0.22±0.07
P 值 *P*-value	0.425	0.510	0.408	<0.001	0.081	0.001	0.026	<0.001	0.069

3 讨 论

3.1 植物多酚对黄羽肉鸡血清抗氧化指标的影响

本研究结果表明，饲粮中添加 500 和 1 000 mg/kg 植物多酚增强了肉鸡机体的抗氧化性能。舒刚[10]研究表明，竹叶黄酮显著提高了肉鸡血清 SOD、CAT 的活性及 T-AOC，并降低了血清 MDA 含量；李红等[11]研究表明，饲粮中添加 0.3%的板栗总苞多酚能够显著提高肉鸡抗氧化能力。本试验结果与这些关于植物多酚（茶多酚）抗氧化作用的报道基本一致。植物多酚具有抗氧化作用主要是由于其结构中包含多个易被氧化的酚羟基，可直接与自由基和氧化物结合从而清除自由基、抑制脂质过氧化，或促进体内抗氧化系统，间接清除自由基[12-13]。

3.2 植物多酚对黄羽肉鸡抗体水平的影响

抗体水平在一定程度上反映了机体的体液免疫能力。本研究结果显示，一免后第 14 天时，BP1000 组抗 NDV 抗体水平显著高于对照组；二免后第 9 天时，BP500 组抗 NDV 抗体水平显著高于其他各组，表明植物多酚对黄羽肉鸡的体液免疫反应有一定影响。该试验结果

中植物多酚对机体体液免疫的促进作用与李振等[14]、马美湖[15]和丘光恒等[16]的报道相似。大多数人认为植物多酚调节机体免疫功能的具体机制是通过植物多酚本身的抗氧化特性来保护机体的生物膜不受自由基的破坏，从而保持了膜的流动性，使机体处于一个动态的氧化还原平衡的状态中。

3.3　植物多酚对黄羽肉鸡肠道形态的影响

小肠绒毛是直接执行吸收功能的部位，绒毛高度与细胞数量显著相关。肠绒毛高度的增加能够使小肠吸收营养物质的面积增大，所以肠绒毛的长短直接关系着动物的生长发育。只有成熟的绒毛上皮细胞才具有养分吸收功能，因此绒毛短时，成熟细胞少，养分吸收能力低[17-19]。小肠隐窝是绒毛根部上皮陷入固有层形成的管状腺体。隐窝深度主要是反映上皮细胞的生成率，上皮细胞不断从隐窝基部向绒毛端部移动，形成具有吸收能力的新绒毛细胞，以补充正常的细胞脱落。如果此过程减慢，则基部的细胞生成率降低，使隐窝变深[20-21]。V/C则综合反映小肠绒毛吸收功能。V/C 下降，表示消化吸收功能下降，常伴随腹泻的发生；V/C 上升，消化吸收功能增强，腹泻率下降[22-23]。在本试验中，BP1000 组 21 日龄肉鸡回肠绒毛高度显著高于抗生素组；饲粮中添加 500 和 1 000 mg/kg 植物多酚可提高 56 日龄肉鸡回肠 V/C。这表明植物多酚可一定程度改善黄羽肉鸡肠道形态，与孙丹凤[9]、李登辉[24]和原泽鸿[25]的研究结果一致。

3.4　植物多酚对黄羽肉鸡肉品质的影响

肌肉肉色 a*值的大小说明肌肉中肌红蛋白含量的高低和存在的状态；肌肉系水力是肌肉组织保持水分的能力，是作为评定禽肉肉质的重要指标，目前多采用失水率、滴水损失、烹调损失或熟肉率来评定家禽肌肉系水力；脂类过氧化是肉品质降低的主要原因之一，MDA 是肌肉中脂类过氧化最重要的产物之一。蒋守群[7]在岭南黄羽肉鸡饲粮中添加 40 mg/kg 大豆异黄酮可使宰后 24 h 时肉鸡胸肌的肉色 a*值略有增高，提高了胸肌系水力，并降低了胸肌中 MDA 含量。宋扬等[26]报道，饲粮中添加泡桐花黄酮提取物可改善爱拔益加肉鸡肌肉的系

水力。在本试验中，BP1000 组肉色 a*值显著高于其他 3 组，表明植物多酚可一定程度上抑制肌红蛋白过氧化成高铁蛋白，使鸡肉保持肉色的稳定性；BP500 组和 BP1000 组黄羽肉鸡肌肉失水率和滴水损失均显著降低，表明植物多酚可提高肌肉对水分的束缚能力；饲粮中添加植物多酚有降低鸡胸肌中 MDA 含量的趋势，说明植物多酚可在一定程度上抑制脂类过氧化，保持鸡肉的新鲜程度。总之，本试验结果与国内一些关于植物多酚改善鸡肉品质的报道基本一致。

4 结 论

① 饲粮中添加 500 和 1 000 mg/kg 植物多酚均显著提高了黄羽肉鸡血清抗氧化酶 CAT 的活性，从而增强了黄羽肉鸡的抗氧化性能；其中添加 1 000 mg/kg 的效果更优。

② 饲粮中添加 500 和 1 000 mg/kg 植物多酚均在一定程度上提高了黄羽肉鸡抗 NDV 抗体水平。

③ 饲粮中添加 500 和 1 000 mg/kg 的植物多酚均能改善肉鸡肠道形态，且添加 1 000 mg/kg 的效果更优。

④ 饲粮中添加 500 和 1 000 mg/kg 植物多酚均能够改善黄羽肉鸡肉品质，且添加 1 000 mg/kg 的效果更优。

⑤ 综合考虑，饲粮中植物多酚的添加量以 1 000 mg/kg 为宜。

参考文献：

[1] 冯丽,宋曙辉,赵霖,等.植物多酚种类及其生理功能的研究进展[J].江西农业学报,2007,19(10):105–107.

[2] 蒋步云,伍树松,侯德兴,等.植物多酚作为动物饲料添加剂的研究进展[J].中国畜牧杂志,2014,50(7):89–93.

[3] 林荣海,陈佳铭,黄顺捷,等.前花青素饲料添加剂促进断奶仔猪生长增重的试验研究[C]//

福建省农业工程学会 2009 年学术年会论文集.福州:福建省农业工程学会,2009:48–51.

[4] 熊何健,周常义,郑新阳,等.葡萄籽多酚对高脂膳食小鼠降血脂和抗氧化功能的影响[J].江西农业学报,2008,20(1):105–107.

[5] 赵献云,张辉,何丽芬.绿茶提取物对高脂血症大鼠的降脂和抗氧化作用[J].武警医学院学报,2006,15(6):574–575.

[6] 梁卫花.松针提取物(前花青素)对肉仔鸡增重和免疫作用的试验研究[D].硕士学位论文.福州:福建农林大学,2009.

[7] 蒋守群.大豆异黄酮对岭南黄羽肉鸡生产性能、肉品质的影响和抗氧化作用机制研究[D].博士学位论文.杭州:浙江大学,2007.

[8] 李卫春,焦卫民,刘福柱,等.日粮添加茶多酚对肉鸡生产性能及肌肉抗氧化性能的影响[J].西北农林科技大学学报（自然科学版）,2008,36(11):16–20,28.

[9] 孙丹凤.三种抗氧化剂的不同水平组合对肉鸭肠道组织结构和功能的影响[D].硕士学位论文.武汉:武汉工业学院,2010.

[10] 舒刚.竹叶黄酮对肉鸡的生物效应及作用机理研究[D].博士学位论文.雅安:四川农业大学,2015.

[11] 李红,董硕,熊颖,等.板栗总苞多酚对 AA 肉鸡生长、抗氧化性能影响[J].中国农业科学,2015,48(4):788–795.

[12] KUSZNIEREWICZ B,PIEKARSKA A,MRUGALSKA B,et al.Phenolic composition and antioxidant properties of Polish blue-berried honeysuckle genotypes by HPLC-DAD-MS,HPLC postcolumn derivatization with ABTS or FC,and TLC with DPPH visualization[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2012,60(7):1755–1763.

[13] ZDAŘILOVA A,SVOBODOVÁ A R,CHYTILOVÁ K,et al.Polyphenolic fraction of *Lonicera caerulea* L. fruits reduces oxidative stress and inflammatory markers induced by

lipopolysaccharide in gingival fibroblasts[J].Food and Chemical Toxicology,2010,48(6):1555–1556.

[14] 李振,陈现伟.茶多酚的免疫调节作用及应用[J].中国兽药杂志,2004,38(4):33–35.

[15] 马美湖.茶多酚复合剂对实验动物抗性效果与机理研究[D].硕士学位论文.长沙:湖南农业大学,2005.

[16] 丘光恒,李桦,杨梅梅,等.绿茶多酚对热应激肉鸡部分免疫功能的影响[J].养禽与禽病防治,2016(1):41–43.

[17] CASPARY W F.Physiology and pathophysiology of intestinal absorption[J].The American Journal of Clinical Nutrition,1992,55(1 Suppl):299S–308S.

[18] 王春荣,刘学飞,程永刚.肠功能恢复汤对感染性多器官功能障碍综合征大鼠肠黏膜损伤的保护作用[J].郑州大学学报（医学版）,2008,43(6):1107–1111.

[19] VAREL V H,ROBINSON I M,POND W G.Effect of dietary copper sulfate,Aureo SP250,or clinoptilolite on ureolytic bacteria found in the pig large intestine[J].Applied and Environmental Microbiology,1987,53(9):2009–2012.

[20] 王子旭,余锐萍,陈越,等.日粮锌硒水平对肉鸡小肠黏膜结构的影响[J].中国兽医科技,2003,33(7):18–21.

[21] 姚浪群,萨仁娜,佟建明,等.安普霉素对仔猪肠道微生物及肠壁组织结构的影响[J].畜牧兽医学报,2003,34(3):250–257.

[22] 韩正康.家畜营养生理学[M].北京:中国农业出版社,1991:16–17.

[23] 刘秋东,张中文,刘凤华,等.复方白头翁胶囊对腹泻犬小肠绒毛长度和隐窝深度的影响[J].北京农学院学报,2011,26(3):38–40.

[24] 李登辉.茶多酚对感染球虫肉鸡肠道微生态影响及其作用机理研究[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2015.

[25] 原泽鸿.茶多酚对饲喂含钒饲粮蛋鸡生产性能、蛋品质和肠道健康的影响及机理的研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2016.

[26] 宋扬,毛薇,王亚锴,等.泡桐花活性物质对肉鸡生长性能、屠宰性能及肉品质的影响[J].饲料工业,2013,34(15):14–17.

Effects of Botanical Polyphenol on Antioxidant Capacity, Intestinal Morphology and Meat Quality of Yellow Broilers[1]

WU Shu[1,2]　JIANG Buyun[1]　SONG Zehe[1]　HOU Dexing[1,3]　SHI Shourong[2*]　HE Xi[1*]

（1. *College of Animal Science and Technology*, *Hunan Agricultural University*; *Feed Safety and Efficient Use Ministry of Education Engineering Research Center*; *Hunan Livestock Safety Production Cooperative Innovation Center*, *Changsha* 410128, *China*; 2. *Poultry Institute*, *Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Yangzhou* 225125, *China*; 3. *Department of Biochemical Science and Ttechnology*, *Faculty of Agricultural*, *Kagoshima University*, *Kagoshima* 890-0065, *Japan*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of botanical polyphenol on antioxidant capacity, intestinal morphology and meat quality of yellow broilers. A total of 288 one-day-old male yellow broilers were selected and randomly allocated to 4 groups with 6 replicates per group and 12 chickens per replicate. Broilers in the four groups were fed a basal diet (control group), the basal diet+antibiotics (antibiotic group), the basal diet+500 mg/kg botanical polyphenol (BP500 group) and the basal diet+1 000 mg/kg botanical polyphenol (BP1000 group), respectively. The experiment lasted for 56 days. The results showed as follows: 1) on 21 days of age, the serum catalase (CAT) activity of BP500 group and BP1000 group was significantly higher than that of antibiotic group (P<0.05); on 56 days of age, the serum CAT activity of BP1000 group was significantly higher than that of other three groups (P<0.05). 2) On 21 days of age, the villous height/crypt depth (V/C) in ileum of BP500 group and BP1000 group was significantly higher than that of antibiotic group (P<0.05); on 56 days of age, the V/C in ileum of BP500 group was significantly higher than that of control and antibiotic groups (P<0.05). 3) On 56 days of age, the meat color of redness (a^*) value in breast muscle of BP1000 group was significantly higher than that of other three groups (P<0.05); the water loss rate of breast muscle of BP500 group and BP1000 group was significant lower than that of other two groups (P<0.05); the 24 h drip loss of breast muscle of BP500 group and BP1000 group was significant lower than that of the control group (P<0.05), the 48 h drip loss of breast muscle of BP1000 group was significant lower than that of control group and antibiotic groups (P<0.05). It is concluded that botanical polyphenol can improve intestinal morphology, antioxidant capacity and meat quality of yellow broilers. The

*Corresponding authors: SHI Shourong, associate professor, E-mail: ssr236@163.com; HE Xi, professor, E-mail: hexi111@126.com
（责任编辑　武海龙）

recommended addition of botanical polyphenol is 1 000 mg/kg.

Key words: botanical polyphenol; yellow broilers; antioxidant capacity; intestinal morphology; meat quality